CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO CIMENTO PORTLAND CP V

Ramon de Souza Lima Filho[1] Diego José Araújo Viégas[2]; Jaqueline Cássia de Amorim[3]; Luana Dantas de Medeiros[4]; João Pedro Silveira Salustiano[5]; Ana Maria Gonçalves Duarte[6]

[1]Graduando em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Brasil (ramon.souza@estudante.ufcg.edu.br)
[2] Doutorando em Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco(UPE), Recife, Brasil
3 Mestre em Engenharia de Minas, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Brasil

[4]Doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Brasil
[5] Mestrando em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Brasil
[6] Professora PhD da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Brasil

Resumo: O presente estudo analisa as propriedades químicas do cimento Portland CP V-ARI por meio das técnicas de fluorescência de raios X (FRX), análise termogravimétrica (TGA) e análise térmica diferencial (DTA), visando compreender seu desempenho e durabilidade na construção civil. Os resultados indicaram predominância de CaO e eventos térmicos característicos, com perda de massa em uma faixa específica de temperatura, sendo a caracterização essencial para aplicação em concretos e argamassas.

Palavras-chave: cimento Portland CP V-ARI; caracterização química; fluorescência de raios X; análise termogravimétrica; propriedades.

INTRODUÇÃO

O interesse pela análise e caracterização de materiais tem crescido de forma significativa nas últimas décadas, impulsionado pela necessidade de selecionar materiais adequados de acordo com o desempenho esperado em diferentes aplicações. Em áreas como a construção civil, essa escolha torna-se ainda mais crítica, uma vez que os materiais estão diretamente relacionados à segurança, durabilidade e eficiência das estruturas. Dependendo das condições de uso, a caracterização pode abranger propriedades mecânicas, químicas, térmicas, elétricas, ópticas e magnéticas, bem como a interação entre essas propriedades, permitindo uma compreensão mais ampla do comportamento do material (Suhag et al., 2024).

No contexto do desenvolvimento das sociedades modernas, os materiais de construção desempenham papel fundamental, sendo responsáveis por viabilizar obras de infraestrutura e edificações de diferentes portes. Dentre esses materiais, o cimento Portland destaca-se como um dos mais utilizados no mundo, constituindo o principal componente de concretos e argamassas. No Brasil, sua produção industrial teve início em 1926, passando por um crescimento expressivo a partir da década de 1970, período em que a produção nacional aumentou significativamente, acompanhando o avanço do setor construtivo e a demanda por obras de grande escala (ABCP, 2022).

A importância do cimento Portland está diretamente relacionada à sua capacidade de atuar como material aglomerante hidráulico, conferindo resistência e coesão aos sistemas cimentícios. Sua produção envolve a moagem do clínquer, material obtido a partir da calcinação de uma mistura de calcário e argila, sendo composto majoritariamente por silicatos de cálcio. Durante esse processo, são adicionadas pequenas quantidades de sulfato de cálcio (gesso), com a finalidade de controlar o tempo de pega, além de outros materiais em proporções limitadas, que podem modificar suas propriedades finais (Santos, 2020).

Essa composição evidencia que as propriedades do cimento Portland são intrínsecas à sua constituição química e mineralógica. Conforme destacam Ogli (2023) e Neville (2015), o entendimento minucioso desses aspectos é o que permite não apenas decifrar o comportamento físico-mecânico do material, mas

também prever sua durabilidade em diferentes exposições. Nesse cenário, a caracterização de materiais torna-se um pilar para a otimização de sistemas construtivos, assegurando a seleção técnica de insumos e a evolução constante de suas propriedades.

O desenvolvimento de novos materiais, bem como o aprimoramento dos já existentes, depende diretamente da análise em diferentes níveis estruturais. Isso inclui a avaliação da estrutura cristalina, da microestrutura, da composição química e da distribuição espacial das fases presentes, fatores que influenciam diretamente o desempenho dos materiais em serviço (Callister e Rethwisch, 2022).

A caracterização de materiais envolve, portanto, uma abordagem multiescalar, que vai desde níveis subatômicos até o comportamento macroscópico. Essa análise integrada permite compreender tanto a natureza do material quanto os efeitos dos processos de fabricação e das condições de exposição ao longo do tempo (Krishnapuram e Jakka, 2024). No caso do cimento Portland, essa abordagem é particularmente relevante, uma vez que pequenas variações na composição podem resultar em diferenças significativas no desempenho mecânico, na durabilidade e na resistência a agentes agressivos.

Dessa forma, torna-se indispensável a utilização de diferentes técnicas de caracterização para uma análise completa do material. Ensaios como a fluorescência de raios X permitem identificar a composição química dos cimentos, enquanto análises térmicas, como a termogravimetria (TG) e a análise térmica diferencial (DTA), possibilitam avaliar o comportamento do material frente à variação de temperatura, identificando processos como perda de água, decomposição de fases e descarbonatação. Essas técnicas, quando utilizadas de forma complementar, fornecem informações fundamentais para a compreensão do desempenho dos materiais cimentícios (Lavagna e Nisticò, 2022; Švec et al., 2020).

Além disso, é importante destacar que o cimento Portland CP V-ARI apresenta composição predominantemente rica em clínquer, com baixa adição de materiais suplementares, o que influencia diretamente propriedades como resistência mecânica, calor de hidratação, durabilidade e comportamento térmico (Neville, 1997; Hassoun e Al-Manaseer, 2020).

Apesar da ampla utilização do cimento Portland, ainda há a necessidade de estudos que investiguem de forma mais detalhada suas propriedades químicas e térmicas, especialmente considerando a diversidade de materiais disponíveis no mercado. A compreensão dessas características contribui para uma melhor previsão do comportamento dos materiais cimentícios, auxiliando na escolha mais adequada do tipo de cimento para cada aplicação, além de favorecer o desenvolvimento de soluções mais eficientes e duráveis (McDonald et al., 2022; Toledo Filho e Fairbairn, 2006). Nesse sentido, a escolha do tipo de cimento analisado neste estudo justifica-se pela necessidade de abranger composições e propriedades distintas, permitindo uma análise comparativa mais abrangente e representativa do comportamento desse material.

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo realizar a caracterização química e térmica do cimento Portland CPV-ARI, visando esclarecer suas transições de fase e estabilidade térmica sob diferentes gradientes de temperatura. Dessa forma, busca-se contribuir para o entendimento do desempenho desse material, fornecendo subsídios técnicos para sua aplicação mais adequada na construção civil.

MATERIAL E MÉTODOS

Para realização deste estudo foi utilizado o cimento Portland CP V–ARI: Cimento de Alta Resistência Inicial, da marca Zebu, cedido por empresa local.

Inicialmente, foi realizada a etapa de coleta e seleção do cimento Portland CP V-ARI utilizado neste estudo.

Na etapa seguinte, foi efetuado o beneficiamento da amostra, que consistiu no seu peneiramento em peneira ABNT nº 200 (0,074 mm), com a finalidade de garantir maior uniformidade granulométrica. Após esse processo, o material foi devidamente acondicionado em porta-amostra específico, de modo a evitar o contato com a umidade e possíveis alterações em suas características.

Posteriormente, foi realizada a caracterização química e mineralógica do material. Para isso, foram conduzidos ensaios específicos, com destaque para a fluorescência de raios X (FRX), além da análise térmica diferencial (DTA) e da análise termogravimétrica (TGA), que permitiram avaliar o comportamento do material frente à variação de temperatura e identificar suas principais fases constituintes.

As análises térmicas diferenciais e termogravimétricas do cimento Portland foram realizadas em um equipamento BP Engenharia, Modelo RB 3000, operando a uma taxa de 12,5°C/min. Foi utilizado o óxido de alumínio (Al_2O_3) calcinado como padrão no ensaio de DTA. O equipamento empregado foi ilustrado na Figura 1.



Figura 1. Equipamento utilizado para realização do ensaio de DTA e TGA.

As análises de fluorescência de raios X foram realizadas em equipamento EDX 720, da Shimadzu, com o objetivo de identificar a composição química majoritária do cimento em estudo. A Figura 2 apresenta o equipamento utilizado na realização desse ensaio.



Figura 2. Equipamento utilizado para realização dos ensaios de fluorescência de raios-X.

Os ensaios de caracterização química e mineralógica do cimento analisado foram realizados no Laboratório de Caracterização de Materiais do Departamento de Engenharia de Materiais da UFCG.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização química do cimento em estudo inclui a análise termodiferencial (DTA) e a análise termogravimétrica (TGA) do cimento Portland. A Figura 3 apresenta as curvas de análise térmica do cimento CP V-ARI utilizado.

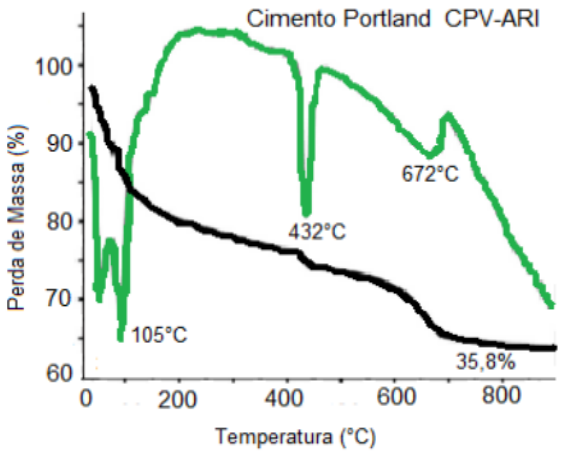


Figura 3. Curvas de análise térmica do Cimento CP V - ARI.

Conforme os resultados obtidos, foi observada a presença de um pico intenso em aproximadamente 105 °C, associado à perda de água livre e água adsorvida presente no cimento. Além disso, foi verificado um pico endotérmico em torno de 432 °C, relacionado à desidratação da portlandita, e outro pico endotérmico próximo de 672 °C, correspondente à decomposição do carbonato de cálcio ($CaCO_3$), com formação de CaO e liberação de CO_2. Esses resultados estão em concordância com a literatura clássica, como descrito por Taylor (1997), que associa essas faixas de temperatura aos processos de desidratação e descarbonatação dos compostos presentes no cimento Portland.

Além disso, estudos mais recentes, como o de Švec et al. (2020), também relatam comportamentos térmicos semelhantes em cimentos Portland, destacando que as perdas de massa observadas nessas faixas de temperatura estão diretamente relacionadas à decomposição de fases hidratadas e carbonatadas, corroborando os resultados obtidos neste trabalho.

Além disso, ao relacionar esses dados com os estudos recentes de Lavagna e Nisticò (2022), observa-se que a magnitude do pico em 432°C é um indicativo direto da reatividade do material, sendo mais nítida no cimento CP V-ARI devido ao seu elevado teor de clínquer e finura. Esses resultados indicam que o elevado teor de clínquer contribui para maior liberação de calor de hidratação, o que pode favorecer ganhos de resistência inicial, porém exige atenção em elementos de grande volume, devido ao risco de fissuração térmica associada aos gradientes de temperatura. Essa característica é fundamental para garantir a resistência inicial superior, diferenciando-o de cimentos com altos teores de adições minerais que apresentariam picos de desidratação da portlandita menos expressivos.

A análise de fluorescência de raios X (FRX) do cimento Portland em estudo é apresentada na Tabela 1, a qual reúne os resultados obtidos para a composição química dessa amostra.

Tabela 1. Fluorescência de raios-x do cimento Portland CP V-ARI.

Determinações(%)	Amostra(CP V-ARI)
PF	3,0
CaO	64,505
SiO_2	16,987
Al_2O_3	6,879
SO_3	3,372
Fe_2O_3	2,688
MgO	0,856
K_2O	1,269
Outros	0,404

No que tange à composição química identificada via FRX, o teor de 64,505% de CaO situa o material dentro das tendências de alto desempenho descritas por Borges et al. (2021). A relação entre o óxido de cálcio e os 16,987% de SiO_2 é o que define a cinética de formação do silicato de cálcio hidratado (C-S-H), validando a eficiência do cimento analisado para aplicações que exigem rápida desforma e alta responsabilidade estrutural.

Adicionalmente, a perda ao fogo de 3,82% reforça que o material conserva sua integridade química, mantendo-se abaixo dos limites que indicariam carbonatação excessiva por armazenamento inadequado, conforme discutido por McDonald et al. (2022) ao analisar a estabilidade de fases em sistemas cimentícios . Essa estabilidade, quando analisada em conjunto com os baixos teores de MgO (0,856%) e K_2O (1,269%), assegura um comportamento expansivo controlado e maior durabilidade frente a reações em matrizes cimentícias, o que é fundamental para a seleção técnica de insumos em obras de infraestrutura.

Desse modo, de acordo com os resultados apresentados nas Tabelas 1 e 2, foi observado que o cimento CP V-ARI é constituído predominantemente por óxido de cálcio (64,505%), seguido por dióxido de silício (16,987%), óxido de alumínio (6,879%), SO_3 (3,372%), Fe_2O_3 (2,688%) e baixos teores de K_2O (1,269%).

Em outros termos, foi verificado que o CaO é o componente majoritário no cimento analisado, em conformidade com as especificações normativas, o que também está em concordância com os resultados reportados por Borges et al. (2021). Além disso, a caracterização química detalhada é fundamental para compreender a composição dos materiais e, consequentemente, explicar o comportamento físico e mecânico de concretos, argamassas e demais produtos à base de cimento Portland.

CONCLUSÃO

Com base nos objetivos estabelecidos e nos resultados obtidos neste estudo, foi possível afirmar que as análises térmicas do cimento Portland CP V-ARI indicaram um comportamento característico e consistente com materiais de alta reatividade. As curvas de TGA e DTA revelaram que as perdas de massa ocorrem em faixas de temperatura bem definidas, distribuídas em três estágios fundamentais: a saída de água livre e adsorvida (105 °C), a desidratação da portlandita (432 °C) e a descarbonatação profunda do carbonato de cálcio (672 °C).

Em relação à composição química obtida via FRX, verificou-se que o óxido de cálcio (CaO) é o componente predominante (64,505%), atuando como o principal responsável pela formação das fases de silicatos de cálcio. A presença equilibrada de SiO2, Al_2O_3 e Fe_2O_3 em teores compatíveis com as normas técnicas brasileiras reforça a aptidão deste ligante para aplicações que exigem elevado desempenho mecânico e rápida desforma.

Além disso, destaca-se que a integração das técnicas de caracterização química e térmica é fundamental para o entendimento profundo da constituição do cimento Portland. Esta abordagem multiescalar possibilita correlacionar diretamente os constituintes químicos com o comportamento físico-mecânico de concretos e argamassas, permitindo prever fenômenos como o calor de hidratação e a durabilidade frente a agentes agressivos.

Dessa forma, os resultados obtidos não apenas validam a qualidade da amostra analisada, mas

também reforçam a importância de métodos analíticos instrumentais como ferramentas de controle de qualidade e suporte técnico para a adequada aplicação dos materiais na construção civil. Como perspectiva para estudos futuros, sugere-se a investigação da influência de adições minerais nestas mesmas curvas térmicas, visando otimizar a sustentabilidade e a eficiência técnica de novos sistemas cimentícios.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) pelo suporte institucional e pela infraestrutura disponibilizada para a realização desta pesquisa. Agradecem, ainda, aos técnicos e funcionários dos laboratórios envolvidos, pelo apoio durante a execução dos ensaios e pela colaboração no preparo das amostras. Em especial, expressam gratidão à Prof.ª Dra. Ana Maria Gonçalves Duarte, pela orientação, dedicação e valiosas contribuições técnico-científicas ao desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Cimento Portland: guia básico de utilização. (ABCP). São Paulo, 2022.

BORGES, A. K. S. M.; NETO, O. M. M.; MENDONÇA, A. M. G. D.. Análise química-mineralógica de cimentos Portland comerciais. Revista de Engenharia da Universidade Católica de Petrópolis, 15, 66-73, 2021.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. Fundamentos da ciência e engenharia de materiais. John Wiley & Sons, 2022.

COUTINHO, A. S. B.: Materiais e propriedades. LNEC, Lisboa, 2006.

HASSOUN, M. N.; AL-MANASEER, A.. Concreto estrutural: teoria e projeto. John Wiley & Sons, 2020.

KANG, W.; ZHENG, Z.; HUANG, H.. Avanços na holografia digital para caracterização de materiais cristalinos: uma revisão. Crystal Research and Technology, 60, 2400264, 2025.

KRISHNAPURAM, P.; JAKKA, S. K.. Espectroscopia em Caracterização de Materiais – Desenvolvimentos. Ciências Aplicadas, 14, 4304, 2024.

LAVAGNA, L.; NISTICÒ, R.. Uma visão sobre a química do cimento — uma revisão. Ciências Aplicadas, 13, 203, 2022.

MCDONALD, L. J. et al. Propriedades físico-químicas do cimento Portland misturado com carbonato de cálcio com diferentes morfologias como material cimentício suplementar. Journal of Cleaner Production, 338, 130309, 2022.

MODRO, N. L. R. Desenvolvimento e caracterização de concreto de cimento Portland contendo resíduo polimérico de PET. (Dissertação de Mestrado). Universidade da Região de Joinville, Santa Catarina, 2008.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. Pini, São Paulo, 1997.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto-5ª Edição. Bookman Editora, 2015.

OGLI, J. Z. A.. Composição química do clínquer de cimento Portland. American Journal of Pedagogical and Educational Research, 13, 111-114, 2023.

SANTOS, M. D. F.. Estudo do processo de produção do cimento Portland CP II-Z. 2020.

SUHAG, D.; KAUSHIK, S.; TAXAK, V. B.. Fundamentals of biomaterials. (Springer Nature Singapore). Singapore, 2024.

ŠVEC, J. et al. Determinação simultânea por análise termogravimétrica e térmica diferencial de produtos formados durante a hidratação de cimento Portland misturado dopado com zinco. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 142, 1749-1758, 2020.

TAYLOR, H. FW. Cement chemistry. Thomas Telford, 1997.

TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R. Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. IBRACON, São Paulo, 2006.